بررسی رفتار خزش خمشی تخته لایه چوب پلاستیک صنوبر ساخته‌شده از فیلم ترمو پلاستیک

چکیده

در این پژوهش رفتار خزش خمشی تخته لایه صنوبر (*Populus alba*) ساخته‌شده با انواع فیلم ترموپلاستیک مورد ارزیابی قرار گرفت. برای این منظور لایه‌هایی از چوب صنوبر به ضخامت ۲/۲ میلی‌متر انتخاب و تخته لایه‌هایی با استفاده از چسب اوره فرم‌آلدهید (UF)، فیلم پلی‌اتیلن سنگین (HDPE)، فیلم پلی‌پروپیلن (PP)، آمیخته فیلم‌های پلی‌اتیلن سنگین و پلی‌پروپیلن (PP/HDPE)، همراه با سازگار کننده‌ی مالیئک‌انیدرید جفت شده با پلی‌اتیلن (MAPE) در ۵ تکرار ساخته شد. در ابتدا آزمون خمش سه نقطه‌ای مطابق آیین‌نامه EN-۳۱۰ انجام و علاوه بر حداکثر بار شکست، مقادیر مدول الاستیسیته (MOE) و مقاومت خمشی (MOR) نمونه‌ها اندازه‌گیری شد. ۲۰ درصد حداکثر بار شکست نمونه‌ها تعیین و آزمون خزش خمشی چهار نقطه‌ای در ۶۰ دقیقه زمان بارگذاری (رفت) و ۳۰ دقیقه برداشت بار (برگشت) انجام و پارامترهای خزش اندازه‌گیری گردید. نتایج مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی نشان داد که تخته‌های ساخته‌شده از چسب اوره فرم آلدهید و آمیخته فیلم پلی‌پروپیلن و پلی‌اتیلن همراه با سازگار کننده بیشترین و تخته‌های ساخته‌شده از فیلم پلی‌اتیلن کمترین مقدار مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی را نشان دادند. نتایج مربوط به آزمون خزش حاکی از آن بود که بیشترین مقدار مدول خزش و کمترین مقدار خزش نسبی در تخته لایه‌های ساخته‌شده با چسب اوره فرم آلدهید مشاهده گردید. تخته‌های ساخته‌شده با فیلم پلی‌اتیلن به دلیل کاهش مدول-الاستیسیته و مقاومت خمشی بیشترین خزش نسبی را نشان داد. استفاده از فیلم پلی‌پروپیلن و آمیخته فیلم‌های پلی‌اتیلن سنگین و پلی‌پروپیلن به دلیل سفتی پلی‌پروپیلن، سبب افزایش مدول خزش گردید. استفاده از سازگار کننده با بهبود سطح اشتراک بین ماده زمینه و فیلم باعث انتقال بهتر تنش و کاهش تغییر شکل خزشی تخته لایه چوب پلاستیک گردید، به‌طوری‌که در هنگام استفاده از سازگار کننده MAPE افزایش مدول خزش و کاهش خزش نسبی مشاهده گردید.

واژگان کلیدی: تخته لایه چوب پلاستیک، خزش، پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، سازگار کننده.

ولی‌الله موسوی[۱*]
عبدالله نجفی[۲]

[۱] استادیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ایران

[۲] دانشیار گروه علوم و صنایع چوب و کاغذ، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس، ایران

مسئول مکاتبات:
valiullahmousavi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۱۶
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۲۴

مقدمه

چندسازه‌های پایه چوبی از بزرگ‌ترین محصولاتی هستند که به‌طور گسترده‌ای در دنیا در زمینه‌های مختلف مانند صنایع پنجره سازی، درب سازی، کف سازی و پانل-های داخلی اتوبوس‌ها و اتومبیل‌ها استفاده می‌شوند. از اجزای اصلی مصرفی در ساخت این چندسازه‌ها، چسب‌ها یا رزین‌ها هستند که می‌توان از رزین‌های اوره فرم آلدهید (UF) فنل فرمالدهید (PF) ملامین فرمالدهید (MF)

ملامین اوره فرمالدهید (MUF) و غیره نام برد. اگرچه این چسب‌ها از نیروی خوب چسبندگی بهره می‌برند و دارای فناوری پیشرفته‌ای هستند ولی به دلیل آزادسازی فرمالدهید در هنگام تولید و نیز در موقع مصرف، برای سلامتی انسان بسیار مضر می‌باشند. کوشش‌های زیادی برای تغییر فرمولاسیون چسب مورداستفاده در صنعت چوب و نیز استفاده از چسب‌های فاقد فرمالدهید صورت گرفته است. تلاش‌هایی نیز برای استفاده از مواد طبیعی در ساخت چسب انجام‌شده است. اگرچه بعضی از این مواد نیز اکنون در صنایع مرتبط استفاده می‌شوند ولی به دلیل قیمت بالاتر و یا افت کیفت چندسازه‌ها مصرف محدودی دارند. پلاستیک‌ها از موادی هستند که به مقدار زیادی زندگی روزانه ما با آن درگیر است و به‌طور گسترده‌ای از آن‌ها استفاده می‌کنیم. آن‌ها اگر به‌درستی استفاده یا بازیافت نشوند دارای مشکلات زیست‌محیطی خواهند بود. در اغلب پژوهش‌ها بیشتر بر روی ساخت کامپوزیت چوب پلاستیک تنها با استفاده از یک پلیمر مانند پلی‌پروپیلن [۱] و پلی‌اتیلن [۲] تمرکز صورت گرفته است. از سوی دیگر تحقیقات زیادی بر روی آمیخته سازی پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن انجام‌شده است [۳ و ۴]. ترکیب پلیمرها و استفاده هم‌زمان از مزایای آن‌ها و رفع عیوب پلیمرها از مواردی است که امروزه موردتوجه پژوهشگران قرارگرفته است [۵]. به‌عنوان نمونه پلی‌اتیلن خواص مقاومتی ضعیفی از خود نشان داده که به‌واسطه ترکیب با پلی‌پروپیلن این خواص بهبودیافته است [۴]. افزودن سازگار کننده‌ها به ترکیب PP+HDPE سبب ترکیب بهتر این دو پلیمر و بهبود خواص مقاومتی گردید. پژوهشگران سازگار کننده‌های مختلفی را در ترکیب PP/PE به‌کاربرده‌اند که می‌توان از استیرن-اتیلن بوتیلن-استیرن (SEBS) [۶]، بسپارهای ناهمگن قطعه‌ای (PP-b-PE) [۷]، اتیلن پروپیلن پیوند خورده با مالئیک انیدرید (EP-g-MAH)[۸]، لاستیک اتیلن پروپیلن (EPR) [۹] و اتیلن-پروپیلن دی‌ان منومر (EPDM) [۱۰ و ۱۱] نام برد. بهبود خواص مقاومتی با استفاده از چنین سازگار کننده‌هایی، سبب کاهش میزان خمش، تحت بار معینی در طول زمان یا میزان خیز گردید. به‌طورکلی رفتار وابسته به زمان (خزش[1]) به‌عنوان یکی از ویژگی‌های مهم و کاربردی شناخته‌شده است. خزش یک رفتار رئولوژیک بوده و آن مطالعه رفتار وابسته به زمان تنش و تغییر طول نسبی مواد است. عوامل مختلفی از جمله میزان بارگذاری [۱۴-۱۲]، میزان و نوع پرکننده [۱۵]، نوع پلاستیک و دست‌اول یا بازیافتی بودن آن [۱۶ و ۱۷]، استفاده از سازگار کننده [۱۶ و ۱۸]، رطوبت [۱۲، ۱۳ و ۱۹] و دما [۲۰] می‌تواند بر رفتار خزشی تخته لایه ساخته‌شده تأثیرگذار باشد. Sain و همکاران (۲۰۰۰) خواص خزشی چندسازه چوب پلاستیک که از چند نوع پلاستیک ساخته‌شده را باهم مقایسه کردند. این محققان دریافتند که خیز در چندسازه‌های با پایه پلیمری پلی‌پروپیلن، پلی‌اتیلن و پلی وینیل‌کلراید به‌شدت به میزان بار، زمان و دما بستگی دارد [۱۷]. Bledzki و Faruk (۲۰۰۴) نیز اثرگذاری دما، طول الیاف و سازگار کننده MAPE بر رفتار خزشی چوب-پلاستیک تولیدی از الیاف چوب و پلی-پروپیلن بررسی کردند. نتایج نشان داد که نمونه‌های تیمار شده با سازگار کننده، مدول خزشی بالاتری دارند و با افزایش دما مدول خزشی کاهش می‌یابد [۲۰]. Tang و همکاران (۲۰۱۱ و ۲۰۱۲) ثابت کرده‌اند که پودر HDPE اصلاح‌شده با کلر جفت شده به طریق کوپلیمریزاسیون می‌تواند به‌عنوان یک چسب چوب فاقد فرمالدهید استفاده شود به‌طوری‌که خواص تخته‌لایی تولیدی از آن می‌تواند در حد استاندارد باشد. در این مطالعه دمای پرس ۱۶۵-۱۶۰ درجه سانتی‌گراد و زمان ۵ دقیقه در نظر گرفته شد. [۲۱ و ۲۲]. در تحقیقی که Bekhta و همکاران (۲۰۲۰) انجام دادند تأثیر نوع گونه چوبی و فیلم‌های ترموپلاستیک را بر ویژگی‌های تخته لایه تولیدی بررسی کردند. در این تحقیق ۳ نوع فیلم ترموپلاستیک LDPE[2]، CoPA[3] و CoPE[4] به‌عنوان چسب در بین لایه‌های دو نوع گونه پهن‌برگ توس و راش که لایه‌ای از چوب سوزنی‌برگ کاج در بین آن‌ها وجود داشت استفاده شد. از چسب اوره فرمالدهید نیز به‌عنوان شاهد استفاده شد. کمترین مدول الاستیسیته و مدول گسیختگی در هنگام استفاده از

[1] Creep
[2] Low-density polyethylene
[3] Co-polyamide
[4] Co-polyester

LDPE و بیشترین در CoPA مشاهده گردید. لایه‌های سوزنی‌برگ استفاده‌شده در تخته لایه، MOR و MOE کمتری نسبت به لایه‌های پهن‌برگ از خود نشان دادند. اگرچه استفاده از چسب UF در بین لایه‌های توس و راش خواص استحکامی بالاتری نسبت به LDPE داشت ولی CoPA را می‌توان به‌عنوان چسب جایگزین UF به دلیل بالا بودن خواص استحکامی جایگزین نمود [۲۳].

Najafi و KazemiNajafi (۲۰۰۹) اثرگذاری سطوح بار و نوع پلاستیک دست‌اول و پسماندی را بر رفتار خزشی چندسازه آرد چوب-پلی‌اتیلن موردبررسی قراردادند. آنان بیان کردند که در همه سطوح بارگذاری چندسازه ساخته‌شده از پلی‌اتیلن دست‌اول، جابجایی بیشتری از خود نشان می‌دهد، اما با افزودن پلی‌اتیلن پسماندی میزان این جابجایی کاهش می‌یابد [۱۴]. با توجه به آثار زیان‌باری که استفاده از چسب اوره فرمالدهید بر سلامت انسان‌ها دارد، این تحقیق باهدف امکان استفاده از فیلم‌های ترموپلاستیک به‌عنوان جایگزین UF انجام شد. رزین اوره فرمالدهید در تخته لایه‌های رایج در بازار به‌صورت محلول در آب مصرف می‌شود که مشکلات مربوط به خود را در فرایند تولید دارد. اگر به شرکت‌های تولید تخته لایه سرزده باشید استفاده از چسب محلول درجاهای مختلف مناظر ناخوشایندی ایجاد می‌کند و تمیزکاری آن در سطوح آغشته به چسب زمان و انرژی زیادی را می‌برد. این در حالی است که برخلاف دیگر محصولات چوب پلاستیک که از گرانول‌های ترموپلاستیک استفاده می‌شود، در این محصول از چسب‌های ترموپلاستیک به‌صورت فیلم خشک استفاده گردید. لازم به ذکر است که در این تحقیق برای اولین بار از سازگارکننده MAPE در ساخت تخته لایه استفاده گردید. تفاوت رفتار چسب اوره فرمالدهید و فیلم‌های ترموپلاستیک در چندسازه‌ی پایه چوبی، از اهداف این تحقیق است. همواره خواص خزش خمشی به دلیل کاربرد محصول تولیدی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده لذا تحقیق حاضر باهدف بررسی مقایسه‌ای رفتار خزش خمشی تخته لایه چوب پلاستیک صنوبر ساخته‌شده از فیلم‌های ترموپلاستیک و چسب اوره فرمالدهید انجام شد.

مواد و روش‌ها

مواد

لایه‌های چوبی از گونه صنوبر به ضخامت ۲/۲ میلی‌متر، رطوبت ۱±۴ درصد و با ابعاد ۴۰ × ۴۰ سانتیمترمربع تهیه شدند. فیلم HDPE ساخت شرکت پتروشیمی تبریز و فیلم PP ساخت شرکت جم انتخاب گردید. گرانول MAPE از شرکت کیمیا جاوید سپاهان تهیه و برای اولین بار به‌عنوان سازگار کننده در محصول مورد بررسی به شکل فیلم با ضخامت ۴ میکرون استفاده گردید. مشخصات فیلم‌های مصرف‌شده در جدول ۱ نشان داده‌شده است.

از رزین اوره فرمالدهید محصول شرکت چسب سامد مشهد (جدول ۲) به‌عنوان چسب در ساخت تخته لایه (شاهد) استفاده گردید و مقدار چسب مصرفی ۲۵۰ گرم در هر مترمربع لایه بود. به همین اندازه نیز از فیلم‌های PP، HDPE، آمیخته PE +PP و همراه با سازگار کننده MAPE در ساخت نمونه‌های آزمونی استفاده گردید.

جدول ۱- مشخصات فیلم‌های پلیمری

نوع فیلم	نام شرکت	درجه	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	ضخامت (میکرون)	MFI
پلی‌اتیلن سنگین	پتروشیمی تبریز	۵۲۵۱۸	۰/۹۵۲	۸	۱۸
پلی‌پروپیلن	جم	J۵۵۰	۰/۹۵۵	۴	۸
MAPE	کیمیا جاوید سپاهان	FILM	۰/۹۲۰	۴	۲

جدول ۲- مشخصات چسب اوره فرم آلدهید

مواد جامد (%)	ویسکوزیته (سانتی پواز)	زمان ژله‌ای شدن (ثانیه)	دانسیته (گرم بر سانتی‌متر مکعب)	PH
۶۰-۶۲	۲۰۰-۴۰۰	۵۰-۷۰	۱/۲۶۵	۷/۵-۸

ساخت نمونه

سه لایه چوب صنوبر باضخامت ۲/۲ میلی‌متر و ابعاد ۴۰×۴۰ سانتی‌مترمربع انتخاب شد. چسب UF، فیلم HDPE،PP، HDPE+PP و همراه با سازگار کننده‌ی MAPEبه‌اندازه ۲۵۰ گرم در هر مترمربع در بین لایه‌ها جاگذاری گردید. شرایط ترکیب مواد در جدول ۳ نشان داده شده است. تخته‌ها در پرس گرم با شرایط دمای ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد، فشار ۵۰ بار و زمان ۵ دقیقه آماده شدند. سپس از پرس سرد به مدت ۱۵ دقیقه برای تثبیت اتصال بین لایه‌ها و فیلم استفاده گردید. در انتها تخته‌ها به مدت دو هفته در شرایط آزمایشگاه، رطوبت ۳±۶۵ درصد و دمای ۲c±۲۳° قرار گرفتند تا کلیماتیزه شوند و تعداد ۳۵ عدد نمونه به ابعاد ۸×۵۰×۱۵۰ میلی‌متر با ۵ تکرار برای هر تیمار از تخته‌های آماده‌شده برش داده شد.

آزمون‌خمش سه‌نقطه‌ای

بر اساس آئین‌نامه استاندارد EN-۳۱۰ آزمون خمش استاتیک سه‌نقطه‌ای انجام و حداکثر بار خمشی، مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی نمونه‌ها اندازه‌گیری گردید. این آزمون با استفاده از ماشین آزمون مکانیکی Dartec با شتاب بارگذاری ۵ mm/min و ظرفیت ۵۰KN انجام شد.

جدول ۳- شرایط ترکیب مواد در تخته لایه

ردیف	کد ترکیب	نوع چسب	سازگار کننده
۱	PE-MAPE	HDPE	MAPE
۲	PE		-
۳	PP-MAPE	PP	MAPE
۴	PP		-
۵	PE+PP-MAPE	HDPE+PP	MAPE
۶	PE+PP		-
۷	UF	UF	-

آزمون خزش چهار نقطه‌ای

۲۰٪ حداکثر بار خمشی نمونه‌ها به‌عنوان بار مناسب جهت بارگذاری تعیین گردید (جدول ۴). سپس آزمون خزش خمشی چهار نقطه‌ای در ۶۰ دقیقه زمان بارگذاری (خزش) و ۳۰ دقیقه برداشت بار (بازگشت) انجام و میزان جابجایی نمونه‌ها، به‌وسیله جابجایی سنج مدل Alton با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر که در وسط دهانه بارگذاری، تعبیه‌شده بود، ثبت گردید. تغییر مکان آنی، تغییر مکان بیشینه، تغییر مکان دائمی، بازگشت آنی و خیز نهایی واحد بار برای هر تیمار اندازه‌گیری شد.

جدول ۴- میزان بار آزمون خزش

تیمار	۲۰٪ حداکثر بار شکست (kg)
UF	۱۲/۵
PE	۴/۲
PP	۶/۴
PE-MAPE	۵/۲
PP-MAPE	۱۰/۳
PE+PP	۸/۵
PE+PP-MAPE	۱۱/۷

بر اساس مشخصه‌های اندازه‌گیری شده خزش نسبی، مدول خزش، فاکتور خزش و خیز نهایی واحد بار به ترتیب بر طبق روابط ۱، ۲، ۳ و ۴ موردمحاسبه قرار گرفت.

$$R_c = \frac{j_t - J_0}{J_0} \times 100 \quad (۱)$$

$$E_c = \frac{L^3 F}{4bh^3 J_t} \quad (۲)$$

$$K_t = \frac{j_t}{j_0} \quad (۳)$$

$$j_l = \frac{j_M}{P} \quad (۴)$$

R_c خزش نسبی برحسب درصد، E_c مدول خزش برحسب مگا پاسکال، K_t فاکتور خزش، j_l خیز نهایی واحد بار برحسب میلی‌متر بر کیلوگرم، J_t تغییر مکان در زمان t برحسب میلی‌متر، J_o تغییر مکان یک دقیقه پس از بارگذاری برحسب میلی‌متر، j_M تغییر مکان ۶۰ دقیقه پس از بارگذاری برحسب میلی‌متر، L طول دهانه بارگذاری برحسب میلی‌متر، F برحسب نیوتن، b عرض نمونه برحسب میلی‌متر، h ضخامت نمونه برحسب میلی‌متر و P میزان بار اعمال‌شده برحسب کیلوگرم.

نتایج و بحث

خواص مکانیکی

جدول ۵ مقادیر مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی نمونه‌های تخته لایه چوب پلاستیک ساخته‌شده را نشان می‌دهد. نتایج مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی نشان داد که تخته‌های ساخته‌شده از چسب اوره فرمالدهید، فیلم پلی‌پروپیلن همراه با سازگار کننده و فیلم‌های آمیخته پلی‌اتیلن و پلی‌پروپیلن همراه با سازگار کننده بیشترین و تخته‌های ساخته‌شده از فیلم پلی‌اتیلن، فیلم پلی‌پروپیلن کمترین مقدار مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی را نشان دادند. استفاده از فیلم سازگار کننده، با افزایش سطح اشتراک بین ماده زمینه و رزین، سبب افزایش مدول کشسانی در تخته‌ها شده است که با نتایج Firouzeh و همکاران (۲۰۰۷) مطابقت دارد [۲۴].

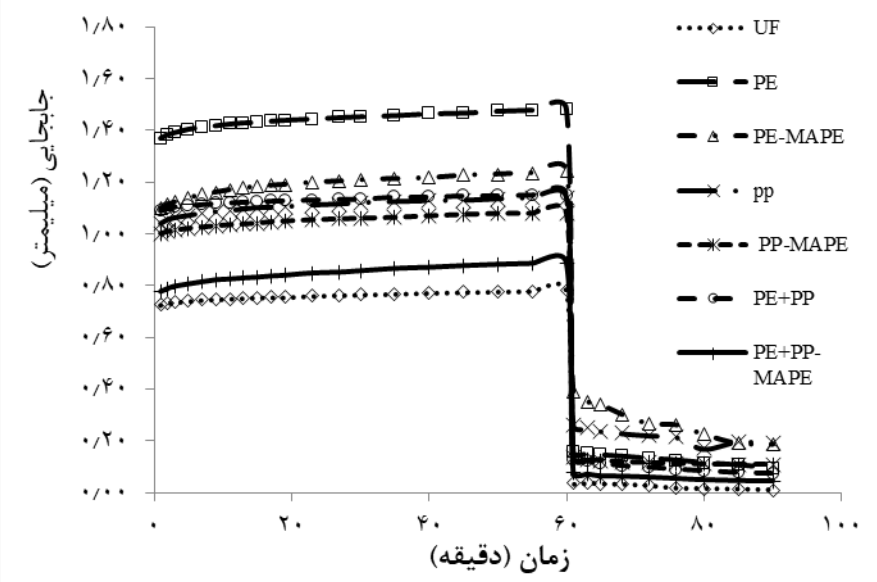
جدول۵- مقادیر مدول الاستیسیته و مقاومت خمشی تخته لایه‌های چوب پلاستیک

نوع چسب	مدول الاستیسیته (MPa)	مقاومت خمشی (MPa)
UF	۴۷۸۹±۱۱۵	۴۷/۹±۵
PE	۲۳۵۸±۳۸	۲۵/۶±۲
PE-MAPE	۳۴۳۷±۲۳	۳۵/۲±۳
PP	۳۴۳۷±۱۵	۲۷/۰±۲
PP-MAPE	۴۲۰۱±۱۱۰	۴۲/۸±۶
PE+PP	۳۹۳۳±۳۸	۳۳/۵±۴
PE+PP-MAPE	۴۵۳۷±۹۵	۴۵/۸±۹

خزش – بازگشت

تغییر شکل خزشی چندسازه چوب پلاستیک تا حدودی تحت تأثیر مدول کشسانی آن است و اغلب مواد با مدول کشسانی بالا تغییر شکل خزشی کمتری دارند [۲۵]. منحنی - خزش بازگشت نمونه‌های آزمونی در شکل ۲ نشان داده‌شده است. کمترین میزان جابجایی در تخته لایه ساخته‌شده از چسب اوره فرمالدهید مشاهده گردید. علت این موضوع را می‌توان بالا بودن مدول و مقاومت خمشی تخته‌های ساخته‌شده از چسب UF (جدول ۵) به دلیل صلب بودن چسب دانست. همچنین نمونه‌های ساخته‌شده از فیلم PE به دلیل استفاده از رزین منعطف، ساختار شکننده داشته و بیشترین میزان خیز یا جابجایی را نسبت به دیگر نمونه‌های آزمونی نشان داد. همان‌طور که در جدول ۵ مشاهده می‌کنید کمترین میزان MOE و MOR در تخته‌های ساخته‌شده از رزین PE مشاهده شده است ازاین‌رو می‌توان انتظار بیشترین میزان جابجایی را در

این تخته‌ها داشت که با نتایج Chang و همکارن (۲۰۱۷) و Songو همکاران (۲۰۱۶) مطابقت دارد [۲۶ و ۲۷]. استفاده از سازگار کننده باعث افزایش استحکام خمشی نمونه‌های آزمونی گردیده است (شکل ۱) ازاین‌رو هنگام استفاده از جفت کننده تغییر شکل خزشی کمتری را شاهد هستیم که با نتایج Hu و همکاران (۲۰۰۵) یکسان است [۲۸].



شکل ۱- منحنی خزش- بازگشت نمونه‌های آزمونی

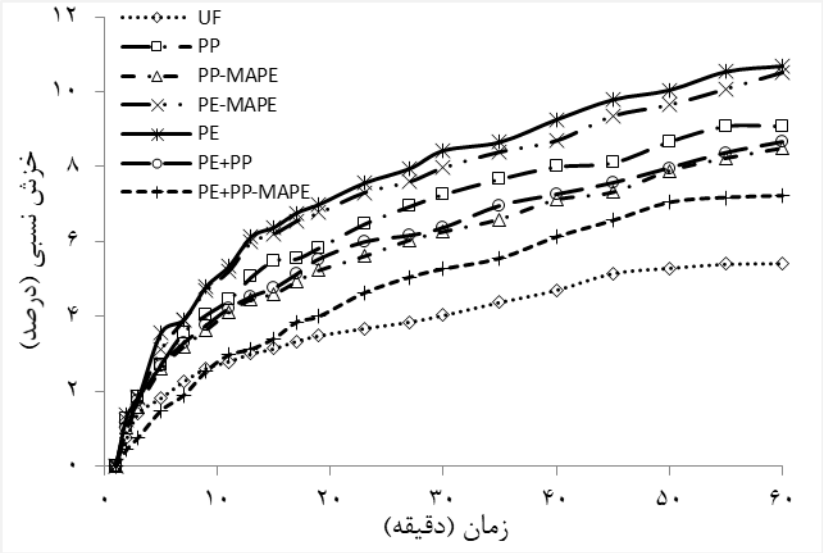
مقادیر پارامترهای خزش حاکی از آن است که نمونه-های ساخته‌شده از PE در مقایسه با PP بیشترین تغییر مکان آنی، تغییر مکان بیشینه و خیز نهایی واحد بار را از خود نشان داده‌اند (جدول ۶). ازاین‌رو منحنی خزش – بازگشت نمونه‌های PE بالاتر از PP قرارگرفته است (شکل ۱). علت این موضوع را می‌توان به بالاتر بودن مدول کشسانی خمشی و استحکام خمشی PP نسبت به PE مربوط دانست [۲۱]. نتایج نشان داده است که استفاده از PP+PE نسبت به PE سبب کمتر شدن خیز نهایی واحد بار به دلیل افزایش مقاومت‌های مکانیکی شده است که با نتایج Ubonnut (۲۰۰۷) نیز مطابقت دارد [۷]. استفاده از سازگار کننده نیز همراه رزین سبب کاهش پارامترهای خزش شده است (جدول ۶).

جدول ۶- مقادیر پارامترهای خزش نمونه‌های آزمونی

نمونه آزمونی	تغییر مکان آنی (mm)	تغییر مکان بیشینه (mm)	بازگشت آنی (mm)	تغییر مکان دائمی (mm)	خیز نهایی واحد بار (mm/kg)
UF	**۰/۷۳**	**۰/۷۸**	۰/۱۴	۰/۱۱	**۰/۰۶**
PP	۱/۰۴	۱/۱۴	۰/۱۳	۰/۰۷	۰/۱۸
PE	**۱/۳۷**	**۱/۴۸**	۰/۱۵	۰/۰۱	**۰/۳۵**
PP+PE	۱/۰۹	۱/۱۵	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۱۴
PE-MAPE	۱/۱۰	۱/۲۴	۰/۱۳	۰/۱۹	۰/۲۴
PP-MAPE	۱/۰۰	۱/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۹	۰/۱۰
PP+PE-MAPE	۰/۷۸	۰/۸۹	۰/۰۶	۰/۱۹	۰/۰۸
نتیجه آماری	۳/۵۳۲*	۴/۴۲۰*	۴/۸۴۸*	۰/۹۸۵*	۱/۵۹۱*

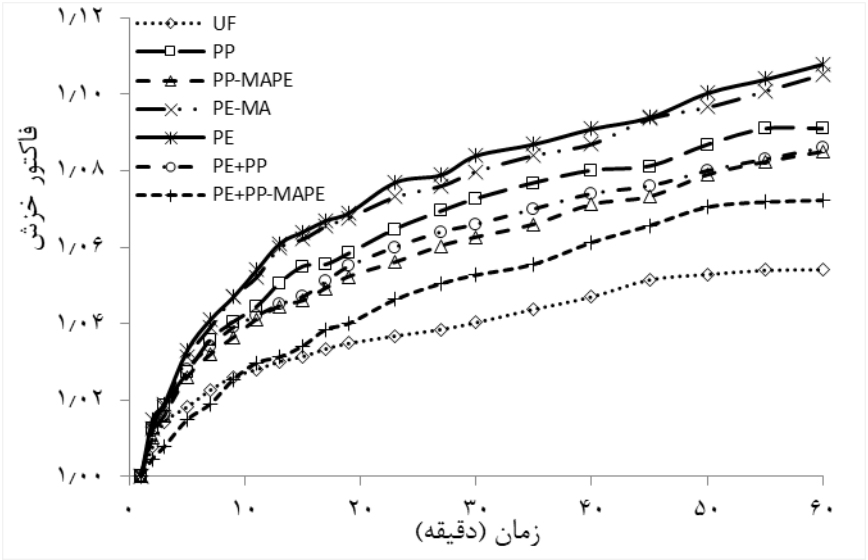
خزش نسبی/فاکتور خزش

خزش نسبی شاخصی از رفتار مهندسی وابسته به زمان در چندسازه چوبی است و به‌طورمعمول برای مقایسه رفتار خزش مواد مختلف با مدول کشسانی مختلف به‌کاربرده می‌شود [۲۹]. منحنی خزش نسبی نمونه‌های آزمونی در شکل ۲ نشان داده‌شده است. تخته لایه‌های ساخته‌شده از PP خزش نسبی و فاکتور خزش کمتری نسبت به نمونه‌های ساخته‌شده با PE از خود نشان دادند. علت این موضوع را می‌توان سفتی بیشترPP نسبت به PEو افزایش مقاومت‌های مکانیکی در نمونه‌های آزمونی ساخته‌شده از PP دانست (جدول ۵) که با نتایج Dick (۱۹۹۴) و Dunky (۲۰۰۳) مطابقت دارد [۵ و ۳۰].



شکل ۲- منحنی خزش نسبی نمونه‌های آزمونی

بر اساس جدول ۵، تخته‌های ساخته‌شده از PE+PP، مقاومت‌های مکانیکی بیشتری نسبت به تخته‌های ساخته‌شده از PP نشان داده است. نتایج متعدد نیز نشان می‌دهد که PE+PP، مدول کشسانی خمشی بالاتری نسبت به چندسازه‌ای که تنها از یک نوع رزین در ساخت آن استفاده‌شده دارد [۳ و ۱۱]. درنتیجه کاهش میزان جابجایی، خزش نسبی و فاکتور خزش را در هنگام استفاده از PE+PP در چندسازه ساخته‌شده نسبت به نمونه‌های ساخته‌شده از PE و PPمشاهده‌شده است که با نتایج Fang (۲۰۱۳) مطابقت دارد [۳۱].

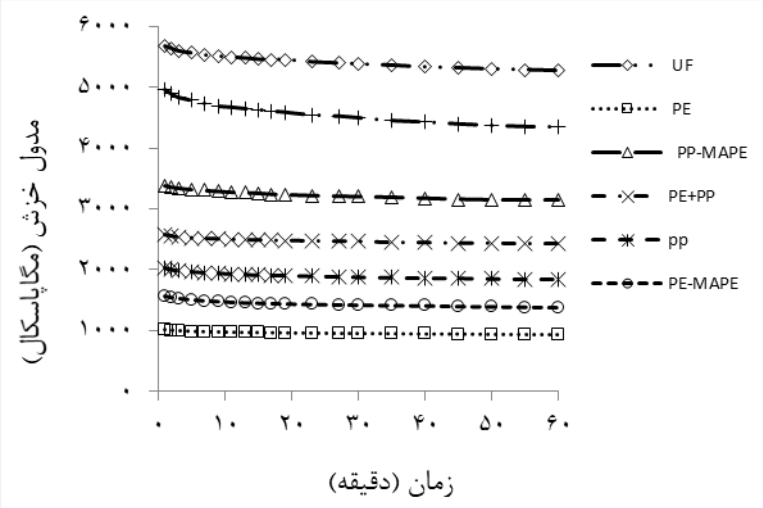


شکل ۳: منحنی فاکتور خزش نمونه‌های آزمونی

استفاده از سازگار کننده‌ی MAPE با تقویت فصول مشترک بین دو فاز الیاف سلولزی و پلیمری چندسازه سبب بالا رفتن مقاومت کششی و مقاومت خمشی گردید (جدول ۵). به‌عبارت‌دیگر استفاده از سازگار کننده‌ی MAPE سبب ایجاد ساختاری همگن‌تر در چندسازه گردیده است. هر چه این ساختار همگن‌تر، توزیع تنش در هنگام واردکردن بار استاتیک بهبودیافته و تمرکز تنش در ناحیه‌ای از محصول کمتر اتفاق خواهد افتاد، درنتیجه ظرفیت تحمل تنش و مقاومت خمشی افزایش‌یافته است. به همین علت کاهش خزش نسبی و فاکتور خزش در هنگام استفاده از سازگار کننده در ماتریس پلیمری مشاهده گردیده است که با نتایج Chen و همکاران (۲۰۱۸) یکسان است [۳۲].

مدول خزش

منحنی مدول خزش نمونه‌های آزمونی در شکل ۴ نشان داده‌شده است. همان‌طور که دیده می‌شود با افزایش زمان مدول خزش نمونه‌های آزمونی کاهش‌یافته است.



شکل ۴: منحنی مدول خزش نمونه‌های آزمونی

استحکام خمشی به قدرت چسبندگی ترکیبات بستگی دارد. کیفیت چسبندگی، فاصله بین لایه‌ها و تشکیل ساختار یکنواخت بین لایه‌ای تأثیر بسزایی بر خواص مکانیکی چندسازه ساخته‌شده دارد. بر اساس جدول ۵ بیشترین MOE و MOR در نمونه‌های آزمونی ساخته‌شده از UF و کمترین در نمونه‌های آزمونی با رزین PEاندازه‌گیری گردید درنتیجه بیشترین مدول خزش نیز در چندسازه ساخته‌شده از UF و کمترین در PE مشاهده گردید. با توجه به رابطه معکوس مدول خزش با خزش نسبی [۱۲ و ۱۹]، در نمونه‌های آزمونی با بیشترین مدول خزش کمترین خزش نسبی اندازه‌گیری گردید. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود استفاده از سازگار کننده سبب چسبندگی بهتر پلیمر با ماده زمینه [۲۱] و افزایش استحکام خمشی و مدول خزش می‌شود که با نتایج Farukو Bledzki (۲۰۰۴) و Bengtssonو همکاران (۲۰۰۶) مطابقت دارد [۲۰ و ۳۳].

نتیجه‌گیری

تحقیق حاضر باهدف بررسی رفتار خزش خمشی تخته لایه چوب پلاستیک صنوبر ساخته‌شده با چسب اوره فرمالدهید، پلی‌اتیلن، پلی‌پروپیلن، آمیخته PP و PEو همچنین ترکیب با سازگار کننده MAPE برای اولین بار انجام و نتایج زیر حاصل شد.

۱- در چندسازه‌های ساخته‌شده، با افزایش زمان بارگذاری تغییر شکل خزشی و خزش نسبی افزایش و مدول خزشی کاهش یافت.

۲- نمونه‌های آزمونی ساخته‌شده از چسبUF به دلیل صلب بودن این چسب بیشترین مدول خزش و کمترین خزش نسبی را نشان داد.

۳- کمترین استحکام خمشی و مدول خزش و بیشترین خزش نسبی در تخته لایه چوب پلاستیک ساخته‌شده از PE به دلیل خاصیت انعطاف‌پذیری این پلاستیک مشاهده گردید.

۴- رزینPP نسبت به PE به دلیل سفتی بیشتر آن، سبب افزایش مدول خزش و کاهش خزش نسبی در تخته لایه‌های ساخته‌شده با آن گردید.

۵- مخلوط فیلم‌های PP و PEتأثیر مثبتی بر خواص خمشی و نیز پارامترهای خزشی نشان داد. استفاده از سازگار کننده نیز بهبود خواص و پارامترهای موردبررسی را به دنبال داشت.

۶- استفاده از سازگار کننده سبب ایجاد ساختاری همگن‌تر و با تقویت فصول مشترک بین دو فاز الیاف سلولزی و پلیمری چندسازه‌ها سبب بالا رفتن مقاومت خمشی نمونه‌های آزمونی گردید. لذا استفاده از سازگار کننده در چندسازه موردبررسی، موجب کاهش خزش نسبی و فاکتور خزش و افزایش مدول خزش می‌گردد. به‌طورکلی استفاده از جفت کننده و آمیخته سازی اثر مثبت بر خواص خمشی و خزشی تخته لایه تولیدی دارد. درنتیجه می‌توان از PE+PP همراه با سازگار کننده‌ی MAPE به‌جای چسب UF در ساخت تخته لایه استفاده نمود.

۷- استفاده از سایر جفت کننده‌ها همراه فیلم ترموپلاستیک و یا استفاده از پلاستیک بازیافتی در ساخت تخته لایه پیشنهاد می‌گردد.

منابع

[1] Mutje, P.A., Lopez, M.E., Vallejos, J.P. and Vilaseca, F., 2007.Full Inhabitation of Cannabis Sativa as Resin for Cement/Filler and Thermoplastic Composites. J. Compos 2, 369-377.

[2] Yuan, Q., Wu, D., Gotama, J., and Bateman, S. 2008. Wood Fiber Reinforced Polyethylene and Polypropylene Composites with High Modulus and Impact Strength.J.Thermoplast.Compos. Mater21: 195-208.

[3] Robertson, R.E. and Paul, D.R., 1973. Stress-Strain Behavior of Polyolefin Blends. J. Appl. Polym. Sci., 17, 2579-2595.

[4] Mehrabzadeh, M. and Ghasemi, I., 1997.Study of Mechanical Properties, Thermal Behavior and Morphology of PP/HDPE and PP/LDPE Blends. Iran. J. Polym. Sci. Technol**2**, 75-81. (*In Persian*)

[5] Dick, J.S., 1994. Blending in Polymer Industry, Sanati Esfehan (Translated by Amirkhizi M.H., Persian, 411p).

[6] Krach, R., Benachour, D. and Potschke, P., 2004. Binary and Polyamide 6, 6: The Effect of Compatibilizer on the Morphology and Rheology. J. Appl. Polym. Sci, 94, 1976-1985.

[7] Ubonnut, L., Thongyai, S. and Praserthdam, P., 2007. Interfacial Adhesion Enhancement of Polyethylene-Polypropylene Mixtures by Adding Synthesized Disocyanate Compatibilizer. J. Apple. Polym.Sci104, 3766- 3773.

[8] Kallel, T., Massardier-Nageotte, V., Jaziri, M. and Gerard, J.F., 2003.Compatibilization of PE/PS and PE/PP Blends. I. Effect of Processing Conditions and Formulation, J. Appl. Polym. Sci90, 2475-2484.

[9] The, J.W. and Rudin, A. 1994. A Review of Polyethylene-Polypropylene Blends and their Compatibilization. Adv. Polym. Technol., 13, 1-23.

[10] Ha, C.S., Park, H.D., Kim, Y., Kwon, S.K. and Cho, W.J., 1996. Compatibilizer in Polymer Blends for the Recycling of Plastics Waste I: Preliminary Studies on 50/50 wt% Virgin Polyblends, Polym. Adv. Technol**7**, 483-492.

[11] Lee, J.O., Kim, B.K., Ha, C.S., Song, K.W., Lee, J.K. and Cho, W.J., 1994. Rheological and Mechanical Properties of PP/PE Binary and PP/PE/EPDM Ternary Blends.Polymer (Korea) 18, 68-77.

[12] Moosavi, V., Najafi, A., Kiaie, M., 2018. the effect of load and relative humidity on bending creep behavior of hornbeamin three altitudes (Case Study, NowshahrMeshelak Branch). Iranian journal of wood and paper industries 9(1): 15-26. (In Persian)

[13] KazemiNajafi, S., Sharifinia, H., Tajvidi, M., 2008. Effect sofwater absorption on creep behavior of woodplasticcomposites. Journal of Composite Materials 42 (10): 993-1002.

[14] Najafi, A., and KazemiNajafi, S., 2009. Effect of load levels and plastic types on creep behavior of wood sawdust/ HDPE composite.Journal of Reinforced Plastic Composites 28, 2645-2653.

[15] KazemiNajafi, S., Mostafazadeh, M., Chaharmahali, M. and Tajvidi, M., 2008. The effects of filler content andwater absorption on creep behavior of HDPE waste/MDF flour composites.Journal of Iranian Polymer Science andTechnology 21(1), 53-59. (In Persian)

[16] Nikrai, J., KazemiNajafi, S. and Ebrahimi, Gh., 2009. A comparative study on creep behavior of wood flour-polypropylene composite, medium density fiberboard (MDF) and particle board. Journal of Iranian Polymer Science and Technology 21, 53-59. (In Persian)

[17] Sain, M. M., Balatinecz, J. and Law, S., 2000. Creep fatigue in engineered wood fiber and plastic composites.Journal of Applied Polymer Science 77(2): 260-268.

[18] Bledzki, A. K, and Gassan, J., 1999. Influence of Fiber Surface Treatment on the Creep Behavior of Jute Fiber-Reinforced Polypropylene. Journal of Thermoplastic Composite Materials 12, 388-398.

[19] Moosavi, V., KhademiEslam, H., Bazyar, B.,Najafi, A. and Talaee Poor, M., 2017. Bending creep behavior of hornbeam wood. DrvnaIndustrija 67(4): 341-350.https://doi.org/10.5552/drind.2016.1609

[20] Bledzki, A.K. and Faruk, O., 2004. Creep and impact properties of wood fiber-polypropylene composite: influence of temperature and moisture content. Composite Science and Technology 64: 693-700.

[21] Tang, L., Zhang, Z.G., Qi, J., Zhao, J.R. and Feng, Y., 2011. The preparation and application of a new formaldehyde-free adhesive for plywood.Int J Adhes. 31:507–512.

[22] Tang, L., Zhang, Z.G., Qi, J., Zhao, J.R. and Feng, Y., 2012. A new formaldehyde-free adhesive for plywood made by in situ chlorinating grafting of MAH onto HDPE.Eur J Wood Prod. 70:377–379.

[23] Bekhta, P., Müller, M. and Hunko, Il., 2020. Properties of Thermoplastic-Bonded Plywood: Effects of the Wood Species and Types of the Thermoplastic Films. Polymers, 12(11): 2582

[24] Firouzeh, M.,KazemiNajafi, S. and Ghasemi, I., 2011. Production of Wood/Plastic Composites Based on PP/HDPE Blends: Determination of Optimum Conditions. Iranian Journal of Polymer Science and Technology, 24(1): 43-53.

[25] Ebrahimi, GH., Falk, R.H. and Tajvidi, M. 2003. Short-term creep behavior natural fiber/polypropylene composites, In: Proceedings of the 2nd International Conference on Wood Mechanics, STFI, Stockholm, Sweden.

[26] Chang, L., Guo, W. and Tang, Q. 2017. Assessing the tensile shear strength and interfacial bonding mechanism of poplar plywood with high-density polyethylene films as adhesive.BioResources, 12: 571–585.

[27] Song, W., Wei, W., Ren, C. and Zhang, S., 2016. Developing and evaluating composites based on plantation eucalyptus rotary-cut veneer and high-density polyethylene film as novel building materials. BioResources, 11: 3318–3331.

[28] Hu, Y., Nakao, T.,Nakai, T., Gu, J. and Wang, F., 2005. Vibrational properties of wood plastic plywood. J. Wood Sci. 51: 13–17.

[29] Perez, C.J., Alvarez, V.A. and Vazquez, A., 2008. Creep Behavior of Layered Silicate/Starch-Poly caprolactoneBlendes Nano composites, Mater. Sci. Eng. Part: A 480, 259-265.

[30] Dunky, M., 2003. Adhesives in the wood industry. In Handbook of Adhesive Technology, 2nd ed.; Revised and Expanded; Pizzi, A., Mittal, K.L., Eds.; Marcel Dekker, Inc.: New York, NY, USA; Basel, Switzerland, 71p.

[31] Fang, L., Chang, L., Guo, W., Chen, Y. and Wang, Z., 2013. Manufacture of environmentally friendly plywood bonded with plastic film. For. Prod. J, 63: 283–287.

[32] Chen, Z., Wang, C., Cao, Y., Zhang, S. and Song, W., 2018. Effect of Adhesive Content and Modification Method on Physical and Mechanical Properties of Eucalyptus Veneer–Poly-β-Hydroxybutyrate Film Composites. For. Prod. J, 68: 419–429.

[33] Bengtsson, M. and Oksman, K., 2006. Silan cross linked wood plastic composite; process and Properties. Composites Science and Technology 66: 2177-2186.

Investigating the bending creep behavior of poplar wood plastic plywoodmade by thermoplastic films

Abstract

In this study, bending creep behavior of poplar (*Populus alba*) plywood made by thermoplastic films was evaluated. For this purpose, the poplar wood layers (2.2 mm thickness) were prepared and the plywood samples were made using high density polyethylene (HDPE) film, polypropylene (PP) film, the mixed high-density polyethylene-polypropylene (PP/HDPE) films and, urea formaldehyde (UF) glue, as a binder, in 5 replications. The maleic anhydride grafted high-density polyethylene (MAPE) was used as a coupling agent. The three-point bending test was performed, and the maximum failure load, modulus of elasticity (MOE) and modulus of rupture (MOR) were measured according to EN-310. Then 20% of the maximum failure load of the samples was determined. To measure the creep parameter, the four-point bending creep test was performed based on 60 minutes of loading time (going) and 30 minutes of unloading time (returning). The results indicated that the plywood made of urea formaldehyde glue and also mixed polypropylene-polyethylene film had highest MOE and MOR and the samples made of polyethylene film had the lowest values of MOE and MOR. The results of the creep test indicated that the highest value of the creep modulus and the lowest value of relative creep were observed in the plywood made with urea formaldehyde glue. The boards made with polyethylene film showed the highest relative creep due to the decrease in modulus of elasticity and bending strength. The use of polypropylene film and the mixed high-density polyethylene-polypropylene (PP/HDPE), both showed an increase in the creep modulus due to the stiffness of polypropylene. The coupling agent caused a better transfer of stress and showed an increase in creep modulus and a decrease in relative creep by improving the level of sharing between the base material and the film.

Keywords: Wood Plastic plywood, Creep, Polyethylene, Polypropylene, Coupling agent.

V. Moosavi[1*]
A. Najafi[2]

[1] Assistant at Department of wood science and paper technology, Chalous branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

[2] Associate at Department of wood science and paper technology, Chalous branch, Islamic Azad University, Chalous, Iran

Corresponding author:
valiullahmousavi@gmail.com

Received: 2022/06/06
Accepted: 2022/08/15